

Studi Beton Dari Limbah Batu Alam Untuk Percepatan Rekonstruksi Hunian Pasca Bencana

Dimas Langga Chandra Galuh^{1,a}, Lilik Hendro Widaryanto^{2,b}, M. Afif Shulhan^{3,c}

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa

^aemail: galuh1985@gmail.com, ^bemail: lilikhw@ustjogja.ac.id, ^cemail: afifs@ustjogja.ac.id

Abstract

The country of Indonesia is in a disaster-prone area so that it has a high potential for natural disasters, which can cause damage to buildings. Innovations are needed in handling disasters from both structural and material aspects so that they can accelerate the reconstruction phase.

This study will conduct a study of the use of local materials in the form of temple natural stone waste as coarse aggregates on concrete. Addition of additive material to the mixture is used to achieve high early strength.

The required concrete strength ($f'c$) = 19.3 MPa with the composition for one concrete cylinder consists of water: cement: sand: temple natural stone waste: additive material with a mixture of 1.2 liters: 1.9 kg: 3, 6 kg: 5.2 kg: 20 ml. The results of testing the concrete strength with the addition of additive materials at the age of 3 and 7 days were 16.04 MPa and 23.02 MPa. The percentage of compressive strength of concrete at the age of 3 days is 83.1%, whereas at the age of 7 days it has exceeded the required concrete compressive strength (119.3%). Based on this study, the use of local materials in the form of temple natural stone waste with the addition of 7-day-old concrete additives can replace broken stone material in the disaster reconstruction process.

Keywords: Concrete, high early strength, waste, temple natural stone, additive material

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan kejadian bencana alam yang relatif tinggi. BNPB (2016) mencatat, selama kurun waktu Januari-Oktober 2016, bahwa telah terjadi sebanyak 1.970 kejadian bencana. Secara rata-rata, 95 % kejadian bencana disumbang dari bencana hidrometeorologi, yaitu bencana yang muncul akibat perubahan iklim dan cuaca global (BNPB, 2017). Pada kurun waktu tersebut, BNPB telah mencatat kerugian fisik berupa 368 jiwa meninggal, 2,42 juta jiwa mengungsi, serta 30.763 unit rumah mengalami kerusakan. Secara total, nominal kerugian dan kerusakan akibat bencana diperkirakan mencapai 30 Trilyun Rupiah setiap tahun. Pada sisi yang lain, dana penanggulangan bencana yang dialokasikan pemerintah hanya sejumlah 4 Trilyun Rupiah/tahun (BNPB, 2017).

Pemerintah, melalui Peraturan Kepala BNPB No 11 Tahun 2008 Tentang Pedoman Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Bencana, menyatakan bahwa keberhasilan dalam pemulihan kehidupan masyarakat pasca bencana sangat bergantung pada kecepatan, optimalisasi dan efektifitas pelaksanaan tanggap bencana. Dalam kata lain, semakin cepat rehabilitasi dan rekonstruksi maka akan semakin cepat pula kehidupan masyarakat yang terdampak kembali pulih dan ekonominya stabil.

Secara khusus, bidang teknik sipil menyumbang peran pada tahap rekonstruksi pasca bencana. Tahapan rekonstruksi merupakan upaya pemulihan kehidupan masyarakat pada aspek fisik yang meliputi pemulihan hunian, fasilitas sanitasi, dan infrastruktur umum. Untuk menunjang keberhasilan pada tahap ini, rekonstruksi memerlukan tahapan proses yang cepat (secara waktu) serta biaya yang relatif murah. Hal tersebut bisa dicapai melalui pengembangan sistem konstruksi hunian serta material konstruksinya.

Guna mendukung pengembangan tahapan rekonstruksi pasca bencana, maka penelitian ini akan mengusung pengembangan material beton yang memiliki kuat tekan awal relatif tinggi dengan harga yang relatif rendah. Dengan memiliki kuat tekan awal yang tinggi, maka beton akan mampu

memikul beban pada umur yang lebih awal sehingga tahapan rekonstruksi hunian dapat diselesaikan lebih cepat. Selain itu, harga yang relatif murah diperlukan agar secara ekonomi lebih ringan bagi masyarakat terdampak. Harga yang relatif murah dapat dicapai dengan penggunaan material limbah sisa dari industri batu hias/batu tempel yang memiliki potensi lokal yang besar, terutama pada daerah dengan gunung berapi.

Secara lebih detail, upaya tersebut di atas akan dicapai dengan pemanfaatan limbah batu candi sebagai agregat kasar dalam pembuatan beton dengan kuat tekan awal tinggi. Upaya menaikkan kuat tekan awal serta *workability* (kemudahan pengerjaan) diperoleh melalui penambahan bahan tambah (*additive*) berupa *superplastisizer*.

Kajian Literatur Dan Pengembangan Hipotesis

Beton merupakan material komposit yang terdiri dari pasta semen, agregat kasar, agregat halus, serta bahan tambah. Dalam perkembangan teknologi beton, ditemui istilah beton normal dan beton kinerja tinggi. Beton normal merupakan beton yang memiliki kuat tekan antara 15 hingga 30 MPa (Tjokrodinuljo, 2007). Sementara itu, beton kinerja tinggi merupakan beton yang memiliki satu atau lebih sifat mekanik (kuat tekan, kekerasan, serapan energi, durabilitas, kekakuan dan daktilitas) yang relatif lebih baik daripada beton normal (Al-Manaseer dan Hassoun, 2012).

Beton kuat tekan awal tinggi (*high early strength concrete*) mampu mencapai kuat tekan yang ditentukan dalam waktu yang lebih singkat daripada beton normal. Periode waktu *setting* atau pengeringan beton kuat tekan awal bervariasi dari hitungan jam hingga hitungan hari. Biasanya karakteristik tersebut diperoleh dengan penggunaan bahan-bahan dan perlakuan khusus, meskipun tidak menutup kemungkinan penggunaan material dan perlakuan pada beton normal (PCA, 2016).

Limbah merupakan bahan organik dan anorganik yang dianggap tidak berguna dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan (SNI 19-2454-2002). Dalam upaya pengelolaan limbah, beberapa peneliti telah mengkaji mengenai pemanfaatan limbah padat sebagai material konstruksi. Annisa dkk (2016) melakukan kajian penggunaan limbah tambang batu Onyx sebagai agregat kasar pada pengujian kuat tarik beton. Penggunaan batu Onyx berhasil meningkatkan nilai kuat tarik belah sebesar 9,09 % pada faktor air semen sebesar 0,9.

Zuraidah dan Jatmiko (2007) meneliti mengenai pengaruh limbah batu marmer sebagai substitusi agregat kasar pada beton normal. Namun, substitusi kerikil menggunakan batu marmer hanya membuat kuat tekan menurun dari 18,92 % hingga 40,70 %. Temuan penting dari Zuraidah dan Jatmiko (2007) adalah penurunan kuat tekan disebabkan permukaan batuan yang licin dan tidak berpori.

Gusanti (2014) melakukan tinjauan kuat tekan dan elastisitas beton yang mempergunakan limbah batu candi sebagai agregat kasar. Tinjauan dilakukan guna memperoleh persentase maksimum substitusi batu candi pada beton normal agar beton masih memenuhi persyaratan mutu yang ditentukan. Hasil kajian Gusanti (2014) menunjukkan substitusi sebanyak 80 % agregat dengan batu candi masih memberikan kekuatan yang telah dipersyaratkan (25 MPa), yang dapat dicapai tanpa mempergunakan bahan tambah (*additive*).

Bahan kimia tambahan pada beton merupakan bahan bukan pokok yang ditambahkan guna memperoleh sifat khusus pada pengerjaan adukan, waktu pengikatan, waktu pengerasan, dan maksud-maksud lain (Tjokrodinuljo, 2007).

Plastisizer atau superplastisizer merupakan bahan tambah untuk mengurangi penggunaan air sekaligus membuat beton lebih mudah mengalir. Dengan pengurangan air, maka nilai faktor air semen akan menurun. Penurunan nilai faktor air semen biasanya akan menaikkan kuat tekan pada beton (PCA, 2016). Harjawinata (2017) melakukan kajian mengenai penggunaan superplastisizer dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen. Penggunaan superplastisizer bersamaan dengan abu sekam padi dengan persentase 10% membuat kuat tekan beton naik hingga sebesar 32,9% daripada beton normal.

Penggunaan superplastisizer dari jenis Naphtalene dan Polycarboxilate mampu mengurangi penggunaan air berturut turut sebesar 24,88% dan 40,98 %. Penurunan penggunaan air yang signifikan tersebut juga diikuti dengan kenaikan kuat tekan beton (Aprilianti, 2012).

Ketersediaan batu alam di Yogyakarta sangat besar karena bersumber dari lahar gunung Merapi yang kemudian membeku. Karakteristik Batu Alam dari Merapi antara lain berpori besar, warna hitam, dan relatif mudah dibentuk atau digergaji. Pemanfaatan batu alam diantaranya sebagai elemen dekoratif (patung, ukiran, cobek) dan konstruksi (fasad, pelapis dinding). Dalam usaha memanfaatkan batu alam, dilakukan proses penggergajian batu dari bongkahan besar menjadi bentuk yang diinginkan.

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton tergantung pada perbandingan dari material penyusun beton tersebut. Faktor air semen akan mempengaruhi kekuatan beton yang dibuat. Banyaknya air yang digunakan selama proses hidrasi akan mempengaruhi kekuatan beton jika air terlalu banyak, maka air akan membuat rongga-rongga di beton, jika air terlalu sedikit, maka akan menyebabkan kelecakan atau kemudahan pelaksanaan tidak tercapai.

Metode Penelitian

Studi pustaka merupakan proses paling awal dalam pengambilan data. Pada tahap ini hasil kajian dan penelitian berupa jurnal ilmiah, buku, dan naskah akademik oleh para peneliti terdahulu dikumpulkan dan dipelajari secara mendalam. Hal ini penting untuk dilakukan, agar penelitian ini tidak mengusulkan pendapat yang sudah dilakukan oleh peneliti lain.

Segera setelah studi pustaka selesai dilaksanakan, survey lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi di lapangan. Data-data yang dikumpulkan dalam tahap ini meliputi :

1. Potensi ketersediaan material lokal sebagai substitusi agregat kasar.
2. Kisaran harga atau biaya dari material lokal tersebut.
3. Kemungkinan aplikasi dari material tersebut sebagai bahan konstruksi.
4. Pengambilan sampel material lokal untuk diuji di laboratorium.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agregat halus (pasir)
Pada penelitian ini agregat halus (pasir) yang digunakan adalah pasir yang diambil dari Kali Mambu.
2. Agregat kasar (batu alam)
Pada penelitian ini agregat kasar (koral) yang digunakan adalah dengan ukuran maksimal 20 mm.
3. Semen
Semen sebagai bahan ikat yang digunakan berasal dari semen yang ada dipasaran dengan semen type I yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik. Semen yang digunakan dalam kondisi yang baik dengan melihat kemasan yang tidak robek dan semen tidak keras (menggumpal).
4. Air
Air yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari sumur Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa Yogyakarta.
Air merupakan bahan dasar pembentuk beton yang penting namun harganya paling murah. Air dibutuhkan untuk kelangsungan reaksi semen (tanpa air, semen tidak dapat bereaksi mengeras) serta menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar adukan beton mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang digunakan untuk campuran beton dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan lain yang merusak beton. Adanya lumpur dalam air diatas 2 gr/ltr, garam-garam, mangaan, seng, tembaga, timah hitam dapat mengurangi kekuatan beton. Secara umum, air yg baik adalah air yang dapat diminum, tawar, tidak berbau dan tidak keruh. Namun air campuran beton tidak harus memenuhi standar persyaratan air minum.
5. *Additive Superplastisizer*
Bahan tambah yang digunakan untuk mempercepat proses pengerasan beton menggunakan aditif yang mudah ditemukan dipasaran. SikaCim Concrete Additive adalah bahan

mempercepat proses pengerasan beton dengan pengurangan air sampai 15%, mengurangi keropos / meningkatkan daya tahan terhadap karbonasi dan memudahkan pengecoran.

Alat-alat yang digunakan di dalam penelitian sebagai berikut :

1. Saringan atau ayakan, timbangan dan mesin penggetar saringan.
2. Gelas ukur
3. Kerucut abrams
4. Cetakan silinder beton.
5. Mesin uji tekan beton.
6. Batang baja.
7. Mesin adukan beton atau mixer.

Pengujian laboratorium dilakukan guna mengetahui beberapa sifat mekanik dan fisik dari setiap material penyusun beton. Beberapa pengujian yang dilakukan di laboratorium bahan bangunan Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa antara lain :

1. Pengujian gradasi pasir
Pengujian ini untuk mengetahui gradasi pasir yang digunakan dalam campuran beton. Alat yang digunakan adalah saringan dengan lubang Saringan lubang 10 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm dan mesin penggetar.
2. Pengujian Kadar Air Agregat
Pengujian kadar air meliputi pengujian kadar air agregat halus dan kasar baik agregat dalam keadaan sesungguhnya maupun agregat dalam kondisi jenuh kering muka (SSD/*Saturated Surface Dry*).
3. Pengujian Berat Jenis Agregat
Pengujian berat jenis meliputi pengujian berat jenis agregat halus dan kasar. Pengujian berat jenis akan mempengaruhi perhitungan dalam *Mix Design* Beton. Jumlah material yang digunakan dan berat beton akan ditentukan dalam berat jenis agregat.
4. Pembuatan *Mix Design* Beton dan Pengujian Slump
Komposisi campuran limbah batu alam dengan pasir dan pasta semen (mix design) mengacu pada SNI 03-2834-2000. Kuat tekan yang direncanakan sebesar 19,3 MPa (K 225). Besar nilai slump yang direncanakan berkisar 7,5 cm – 15 cm. Benda uji menggunakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Komposisi campuran seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan komposisi campuran beton dalam 1 buah silinder beton

	Berat Total (kg)	Air (kg)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Super plastisizer (ml)
1	2245	234,5	372,5	654,3	983,5	3773,9
0,0053	11,9	1,2	1,9	3,6	5,2	20

Berdasarkan pada konsep kuat tekan awal tinggi, maka pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3 dan 7 hari. Kuat tekan pada umur 3 hari diharapkan sudah mencapai kisaran diatas 60% dari kuat tekan pada umur 28 hari dan pada umur 7 hari telah mencapai 100%. Jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Benda Silinder Beton

Pengujian Umur	Jumlah	Keterangan
Umur 3	3	<i>Additive Superplastisizer</i>
Umur 7	3	

Pengujian kuat tekan silinder beton dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa Yogyakarta .

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton tergantung pada perbandingan dari material penyusun beton tersebut. Faktor air semen akan mempengaruhi kekuatan beton yang dibuat. Banyaknya air yang digunakan selama proses hidrasi akan mempengaruhi kekuatan beton jika air terlalu banyak, maka air akan membuat rongga-rongga di beton, jika air terlalu sedikit, maka akan menyebabkan kecacakan atau kemudahan pelaksanaan tidak tercapai. Untuk menentukan kuat tekan beton dinyatakan dengan rumus :

$$F'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

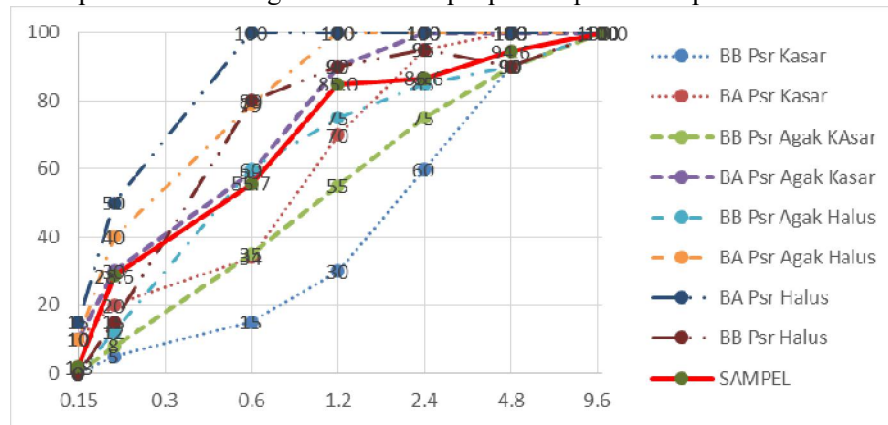
Dimana :

F'_c = Kuat tekan beton (Mpa)
 P = Beban maksimum (Kg)
 A = Luas penampang benda uji (cm²)

Hasil Dan Pembahasan

1. Pengujian gradasi agregat halus

Benda uji agregat halus berasal dari sungai Kali Mambu yang tidak jauh dari Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil UST. Daerah gradasi dari sampel pasir dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gradasi Pasir

Gambar 1 menunjukkan gradasi pasir dari sampel pasir Kali Mambu berada pada daerah 2 (agak kasar).

2. Pengujian Kadar Air Agregat Halus dan Agregat Kasar

Pengujian kadar air meliputi pengujian kadar air agregat sesungguhnya dan kadar air agregat dalam keadaan SSD. Hasil pengujian kadar air agregat dapat di tunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Kadar Air Agregat

Kondisi Agregat	Kadar Air (%)	
	Agregat Halus	Agregat Kasar
Sesungguhnya	1,7	1,5
SSD	3,6	3,2

3. Pengujian Berat Jenis Agregat

Pengujian Berat Jenis meliputi pengujian kadar air agregat halus dan agregat kasar. Hasil pengujian berat jenis agregat dapat di tunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Berat Jenis Agregat

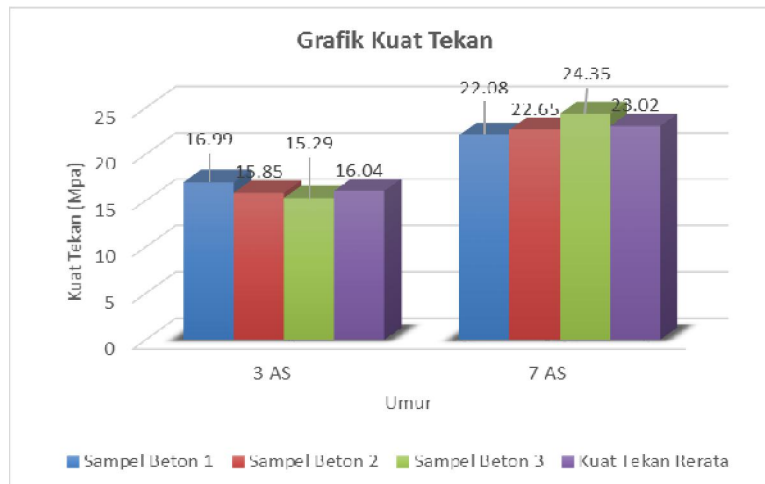
Agregat	Berat Jenis
Agregat Halus	2,45
Agregat Kasar	2,42

4. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada umur beton 3 dan 7 hari. Benda uji berupa silinder beton berdimensi 150 mm x 300 mm. Jumlah silinder beton yang diuji sebanyak 6 silinder untuk beton dengan *additive Superplastisizer*. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 5. dan Gambar 2.

Tabel 5. Hasil uji Kuat Tekan Beton
additive Superplastisizer

Umur 3		Umur 7	
Beban Maks (Ton)	Kuat Tekan (MPa)	Beban Maks (Ton)	Kuat Tekan (MPa)
30	16.99	39	22.08
28	15.85	40	22.65
27	15.29	43	24.35
Rerata	16.04		23.02



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c) pada penelitian ini adalah 19,30 MPa. Persentase grafik kuat tekan beton pada umur 3 dan 7 hari terhadap kuat tekan beton yang disyaratkan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Persentase Kuat Tekan Beton Rerata Terhadap Kuat Tekan Beton yang Disyaratkan (f'_c)

Gambar 3 menunjukkan Persentase kuat tekan beton dengan *additive Superplastisizer* pada umur 3 dan 7 hari secara berturut – turut sudah mencapai 83,12 % dan 119,30 % dari kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c).

Pada prinsipnya produk beton dengan limbah batu alam sebagai substitusi agregat kasar memiliki potensi aplikasi yang sama dengan beton normal. Namun, produk beton ini memiliki keunggulan dari waktu pengerasan yang lebih cepat serta harga yang relatif murah.

Kemungkinan aplikasi yang paling lazim adalah penggunaan produk tersebut sebagai beton bertulang pada rumah tembok sederhana (*non-engineered masonry house*). Namun demikian, karena konteks yang diusung adalah peningkatan ketanggapan pada proses rehabilitasi bencana, aplikasi produk beton ini memungkinkan untuk dikombinasikan dengan inovasi sistem struktur yang telah digunakan dalam tahap rekonstruksi pasca bencana gempa Yogyakarta 2006. Inovasi sistem struktur tersebut adalah rumah *dome*.

Rumah *dome* merupakan sistem struktur untuk hunian keluarga dengan kapasitas sekitar 4-5 orang untuk satu rumah. Rumah *dome* memiliki bentuk seperti setengah bola yang terbuat dari beton bertulang. Bentuk setengah bola tersebut diperoleh dengan penggunaan balon udara sebagai bekistingnya. Balon udara dipompa sehingga berbentuk setengah bola, kemudian besi tulangan dianyam diatas bekisting balon udara tersebut. Setelah besi tulangan selesai dianyam, maka beton dituangkan/disemprotkan pada besi tulangan yang sudah duduk pada bekisting balon udara. Rumah *dome* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rumah Dome di Kec. Prambanan , Yogyakarta

Karena memiliki geometri seperti halnya struktur pelengkung (*arch*), maka pada sistem konstruksi tersebut akan dominan bekerja gaya aksial desak. Dengan gaya dominan adalah aksial desak, maka keunggulan beton dalam menahan gaya desak akan meminimalkan kebutuhan tulangan pada struktur tersebut. Selain itu, dengan nilai kuat tekan awal yang dicapai pada umur yang masih muda (7 hari), maka bekesting akan semakin cepat dilepas dan rumah dapat segera dihuni oleh keluarga terdampak bencana. Oleh karena itu, penggunaan material dan sistem konstruksi yang tepat akan mampu menunjang percepatan pemulihan pasca bencana.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian beton kuat tekan awal dengan menggunakan limbah batu alam candi dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Kuat tekan rerata pada umur 3 hari sebesar 16,04 MPa, belum mencapai kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c) = 19,30 MPa (83,12 %).
2. Kuat tekan rerata pada umur 7 hari sebesar 23,02 MPa, sudah melampaui kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c) = 19,30 MPa (119,30 %).
3. Berdasarkan kuat tekan pada umur 7 hari maka aplikasi dilapangan beton dari limbah batu alam candi dapat digunakan sebagai beton bertulang pada rumah tembokan sederhana (*non-engineered masonry house*) dan rumah *dome*.

Daftar Pustaka

- Al-Manaseer, Akhtem., Hassoun, M. N. 2012. *Structural Concrete Theory and Design*. Wiley. New York.
- Annisa, A.N. 2016. Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar. Malang. Universitas Brawijaya.
- Aprilianti, S. 2012. Analisis Pengaruh Beton Dengan Bahan Admixture Napthalene dan Polycarboxilate Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. Jurnal Konstruksia. Vol 3: 2.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2017. Manajemen Data dan Informasi dalam Penanggulangan Bencana. BNPB. Jakarta
- Gusanti, W. 2014. Tinjauan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Menggunakan Limbah Batu Candi Sebagai Pengganti Agregat Kasar. Surakarta. Universitas Sebelas Maret.
- Harjawinata, J. 2017. Pengaruh Penambahan Superplastisizer dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. Yogyakarta. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Peraturan Kepala BNPB No 11 Tahun 2008. Pedoman Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Bencana. Jakarta
- Portland Cement Association. 2016. *Design and Control of Concrete Mixtures*. -. New York
- SNI 19-2454-2002. Tatacara Operasional Teknik Pengelolaan Sampah Perkotaan. -. Jakarta
- Tjokrodinuljo, Kardiyo. 2007. Teknologi Beton. Biro Penerbit Teknik Sipil. Yogyakarta.

Zuraidan, S. dan Jatmiko, R.A. 2007. Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton. Jurnal Rekayasa Perencanaan. Vol 3: 3.